

# O desenvolvimento de um sistema de proteção de fachadas cinéticas: um protótipo responsivo ao comportamento do usuário

Developing a kinect façade protection system: a prototype responsive to the user behaviour

**Arthur Stofella**

Universidade Federal de Santa Catarina  
a.stofella@hotmail.com

**Luiza Figueredo Bertoli**

Universidade Federal de Santa Catarina  
luizafigueredobertoli@gmail.com

**Carlos Eduardo Verzola Vaz**

Universidade Federal de Santa Catarina  
cevv00@gmail.com

**José Ripper Kós**

Universidade Federal de Santa Catarina  
josekos@gmail.com

## Abstract

This article presents the new results of a work originally prepared by undergraduate students of the Federal University of Pernambuco that developed a functional physical prototype of a responsive façade. At first, the system only changed itself accordingly to the modifications of the environmental parameters, such as temperature, humidity and luminosity. In this new research stage, a simplified version of the façade was developed to make the system responsive to the behaviour of those who are using the indoor spaces of buildings. The physical prototype was built with LEDs that represent the actuators responsible for modifying the position of the responsive façade parts, and the Kinect's motion sensor was used to capture the human behaviour. The prototype here presented was developed with simple, easy to acquire materials, making it an element that can be easily reproduced and employed as an educational tool of automation applied to architecture.

**Keywords:** Responsive design, human activities, computer vision.

## Introdução

O desenvolvimento de anteparos para a proteção de fachadas e a otimização do conforto ambiental em espaços internos apresenta uma longa história. Exemplos podem ser identificados em painéis de portas e janelas chinesas, em painéis muxarabis islâmicos ou no brise soleil (utilizado na arquitetura moderna). Atualmente, pesquisas que abordam sistemas de proteção de fachada automatizados também têm se tornado cada vez mais recorrentes. Uma das estratégias explorada por inúmeros projetistas para melhorar a performance de ambientes internos envolve a aplicação de princípios de automação com o objetivo de criar edifícios que respondam a diferentes estímulos ambientais.

Este conceito tem origem no trabalho de Negroponte (1975), que descreve a arquitetura responsiva como sendo o produto natural da integração da computação com a arquitetura para a produção de espaços ou estruturas otimizadas. Segundo o autor, o início de pesquisas na área foi um reflexo da crise na arquitetura racionalista e da interminável repetição de formas da arquitetura industrializada. Inúmeros pesquisadores e projetistas exploram o conceito de fachada responsiva baseando-se principalmente nas novas ferramentas de modelagem e plataformas de computação física para criar elementos capazes de reagir a atributos ambientais, tais como temperatura, velocidade do vento, incidência solar, etc. Contudo, aspectos humanos ainda não têm sido abordados em sua plenitude, apesar de novas tecnologias de visão computacional permitirem a coleta de dados sobre o

comportamento de usuários, tanto em espaços internos, quanto externos.

Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados de uma pesquisa que visa implementar um elemento de proteção de fachadas responsivo a padrões de comportamento humano. O trabalho desenvolvido se baseia em um protótipo de um cobogó "inteligente" elaborado por estudantes de iniciação científica na Universidade Federal de Pernambuco. Neste documento será apresentado um modelo simplificado do sistema, que possibilitou testar a configuração do circuito, os sensores que deverão ser utilizados e o algoritmo que controlará os atuadores que movimentarão as partes da fachada. Como a pesquisa ainda está em fase de desenvolvimento, o protótipo físico foi criado com materiais de custo menor, funcionando apenas como uma representação do dispositivo final. Esta estratégia permitiu elaborar um dispositivo que também poderá ser utilizado para ensinar aos estudantes de arquitetura e urbanismo diferentes conceitos de automação aplicados ao edifício.

## As fachadas cinéticas

Na visão de Achten (2014) os edifícios responsivos podem ser definidos como aqueles que reagem de forma "inteligente" ao ambiente, às necessidades dos usuários e às condições em seus espaços internos. Tais estruturas são definidas a partir de diferentes denominações que apresentam pequenas variações de significado: sistemas de automação do edifício, casas inteligentes, edifícios sensíveis, adaptativos,

dinâmicos, interativos, arquitetura cinética, etc. Não há, segundo os autores, um acordo comum em relação à definição de uma categorização e, aparentemente, os termos gravitam entorno de um conjunto de tecnologias e as diferentes distinções estão relacionadas às influências causadas pelos avanços tecnológicos.

Para Fortmeyer e Linn (2014), entre os componentes das edificações com a capacidade de responder automaticamente ao ambiente estão os envelopes ativos ou peles de alta performance. Estes elementos tem a capacidade de responder às condições ambientais, tanto externas quanto internas, funcionando como um meio para a transferência de energia. A origem destes sistemas remete à busca pelo homem de controlar a transferência de calor e o desejo em eliminar as barreiras entre o ambiente construído e o ar fresco e a luz natural do ambiente externo sem sacrificar o conforto.

Fortmeyer e Linn (2014) também ressaltam que muitos arquitetos que buscam soluções relacionadas à eficiência de fachadas, priorizando o conforto, racionalizaram este conhecimento em uma arquitetura que é dinamicamente responsiva ao lugar, clima e aos ocupantes, sem sacrificar os legados formais, materiais e históricos que definem a arquitetura contemporânea. Recentemente, baseados nesta tradição, arquitetos propuseram investigações mais radicais sobre energia e conforto tirando proveito das novas tecnologias.

A fachada dinâmica do edifício do Instituto do Mundo Árabe, projetada por Jean Nouvel, pode ser citada como um dos primeiros exemplos relevantes que tiram proveito da automação para controlar o fluxo de energia entre ambientes internos e externos. A fachada sudoeste do edifício é uma parede de vidro formada por 240 painéis fotossensíveis que se abrem e fecham automaticamente visando controlar a incidência de luz calor solar.

Outros exemplos de fachadas dinâmicas podem ser identificados na arquitetura contemporânea. São exemplos: tanto o SDU Campus Kolding na Dinamarca, projetado pelo escritório de Henning Larsen Architects, quanto as Torres Al Bahar, em Abu Dhabi, projetadas pelos arquitetos Aedas. Ambas edificações apresentam uma segunda película na fachada que responde a estímulos climáticos. O primeiro é formado por 1600 painéis basculantes triangulares, enquanto que o segundo foi projetado com inspiração cultural no muxarabi (Archdaily, 2013). Os dois possuem um sistema inovador de sombreamento dinâmico que se auto ajusta de acordo com o ângulo de incidência e intensidade dos raios solares. As fachadas responsivas têm um conjunto de sensores que determina a regulação individual e automática de cada painel, permitindo a manutenção de condições climáticas ótimas no interior do edifício. (Archdaily, 2015) O edifício Bad Gleichenberg, projetado por Ernst Giselsbrecht and Partner ZT GmbH, construído na Áustria em 2007, também introduz um sistema de fachadas dinâmicas que podem ser adaptados às necessidades dos usuários (E-architect, 2015). O grupo DesignInc projetou em 2006 o prédio da prefeitura de Melbourne o CH2 (Council House 2) com o objetivo de torná-lo o prédio mais sustentável da Austrália. Um dos elementos considerados no projeto foi o

desenho de uma fachada de painéis de madeira automatizados que se amoldam às necessidades dos frequentadores ao longo das quatro estações do ano (Archdaily, 2014).

### **Sensores e formas de coleta de padrões de atividades**

Existem diferentes sensores capazes de captar o comportamento dos indivíduos como exemplo o GPS (Sistema de Posicionamento Global), presente em aparelhos de celular, diferentes ferramentas aptas a coletar o rastro deixado pelas pessoas em sua busca por informação na internet, a captura de imagens realizada via câmeras distribuídas em edifícios e nos espaços da cidade, etc. Entre estes exemplos, as câmeras podem ser consideradas como importante meio de coleta de dados sobre diferentes tipos de objetos. Segundo Moeslund e Granund (2001), a partir da captura do movimento humano é possível desenvolver aplicações para três grandes áreas distintas: segurança, controle e análise. Os autores explicam que a primeira utiliza funções que visam capturar objetos ao longo do tempo e, possivelmente, monitorá-lo para realizar determinadas ações. Já, no caso da área de controle, as aplicações tem como função fornecer funcionalidades de comando por meio da captura do movimento. A partir dela podem ser desenvolvidas interfaces de jogos, ambientes virtuais, animações ou possibilitar o controle de objetos remotamente. A terceira e última área de aplicação relaciona-se à análise detalhada do movimento obtido. Neste caso pode ser utilizada, segundo os autores, em estudos clínicos para o diagnóstico ortopédico em pacientes ou para auxiliar atletas a compreender e aperfeiçoar sua performance.

De acordo com Moeslund and Granum (2001), um dos principais aspectos que devem ser considerados ao se tentar capturar o comportamento humano relaciona-se a estimativa da postura. Os autores a definem como sendo a maneira como a configuração do corpo humano ou de seus membros se dá em uma determinada cena. Contudo diferentes variáveis podem influenciar em uma cena, o que torna a captura do comportamento mais complexa. Sukthankar, Geib, Bui, Pynadath and Goldman (2014) afirmam que normalmente assume-se que apenas uma pessoa ou agente de interesse está presente na ação, contudo, em muitas situações, no mundo real, há múltiplas pessoas realizando atividades na mesma área ou cooperando para realizar uma tarefa em grupo. Os autores explicam que a presença de múltiplos agentes pode levar a ações interdependentes que precisam ser consideradas para o processo de reconhecimento ser preciso. Em um cenário em que há um ambiente interno, provavelmente usuários poderão realizar inúmeras atividades, algumas delas em grupo, outras envolvendo a utilização de diferentes objetos. Um modelo que inicialmente aparenta ser simples, pode se tornar complexo se cada aspecto da cena for considerado.

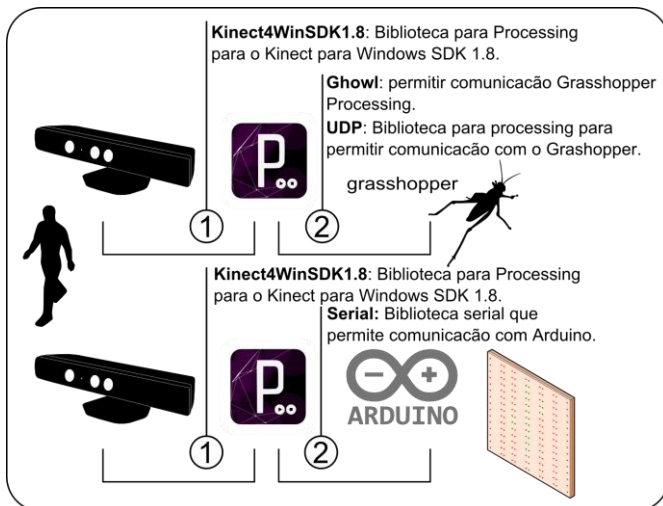
A partir de imagens e vídeos é possível, por meio de diferentes ferramentas de análise baseadas na visão computacional, realizar o seu processamento de modo a identificar pessoas e padrões de comportamento. Apesar deste campo de pesquisa ser promissor, existem alguns fatores que ainda restringem o uso da visão computacional, tais como a dificuldade de se obter diferentes objetos e

padrões de comportamento em uma mesma solução, o que torna as aplicações especializadas.

Além dos aspectos relacionados à própria cena a ser analisada, o desenvolvimento de soluções por meio da computação visual depende de um sólido corpo de conhecimento. Como resultado, durante a pesquisa optou-se por utilizar como ferramenta para a captura de dados que é o sensor de movimentos desenvolvido pela Microsoft chamado Kinect. Este periférico foi criado com o objetivo de permitir que o usuário interaja com jogos eletrônicos sem a necessidade da utilização de *joystick* ou um console. O Kinect apresenta como recursos uma câmera RGB (*red, green, blue*) que possibilita o reconhecimento facial do usuário, um sensor de profundidade (Infravermelho), que digitaliza o ambiente em três dimensões, um microfone embutido, processador e software próprio. Para um agente presente na cena este é capaz de reconhecer 48 pontos de articulação do corpo humano. Além destes recursos, o Kinect também dispõe de uma ferramenta de desenvolvimento para Windows e bibliotecas que permitem a sua integração com o Ambiente de desenvolvimento do Processing e do Arduino.

## Metodologia

Como foi explicado, esta pesquisa tem como objetivo criar um protótipo para testar diferentes padrões de movimentação das partes em uma fachada responsiva, considerando-se dados coletados a partir dos padrões de movimentação dos usuários. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas diferentes.

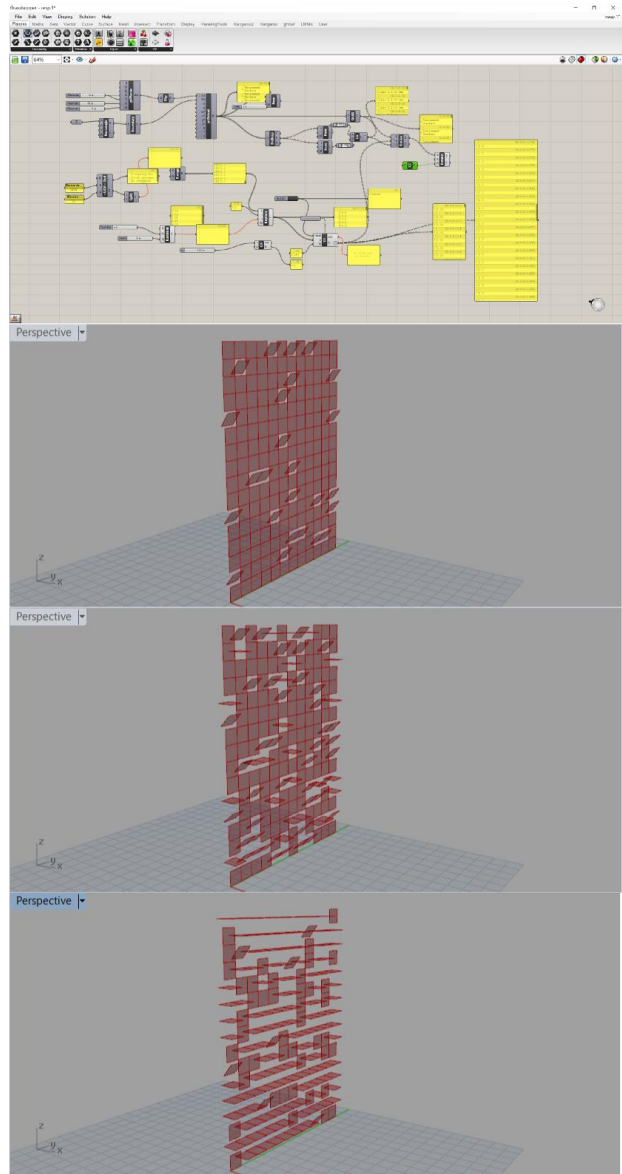


**Figura 1:** Imagem ilustrativa com a aritulação das diferentes ferramentas que foram utilizadas nas etapas da pesquisa. A primeira, relacionando o Kinect ao Grasshopper. A segunda, fazendo a ponte entre o Kinect e o Arduino. **Fonte:** Elaboração própria.

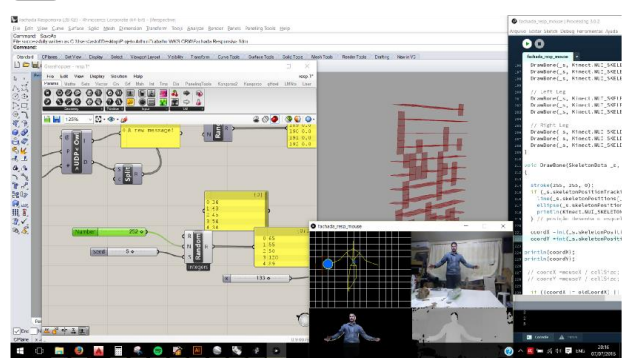
A **primeira etapa** envolveu a implementação dos algoritmos e conexões entre as diferentes ferramentas e sensores que seriam utilizados ao longo do trabalho de investigação. Como o objetivo era identificar possíveis dificuldades antes da elaboração de um protótipo físico, foi necessário desenvolver diferentes modelos paramétricos a partir do emprego do editor de algoritmos visual Grasshopper. Inicialmente este respondia apenas à movimentação do ponteiro do mouse sobre uma interface criada no ambiente de desenvolvimento

do Processing. Posteriormente foi implementada a conexão entre este ambiente de desenvolvimento e o sensor de movimentos Kinect (**Figura 1**). Os seguintes aspectos foram verificados durante esta etapa do trabalho:

## 1 Definição do Grasshopper Diferentes padrões aleatórios



## 2 Conexão entre o sensor Kinect e o modelo paramétrico no Grasshopper



**Figura 2:** Imagem ilustrativa com testes no protótipo digital **Fonte:** Elaboração própria.

**Implementação do código:** de início diferentes padrões de desenho foram testados a partir de um algoritmo que gerava padrões aleatórios, controlados por um mouse ou por uma lista de valores em uma matriz no Grasshopper. Em uma segunda fase, a partir do sensor Kinect, testaram-se os padrões de movimentação do sistema com a presença de um usuário (**figura 2**);

**Especificação e quantificação:** o protótipo digital possibilitou determinar o tipo e modelo dos atuadores a serem utilizados no protótipo físico, o material da estrutura de suporte do sistema, a posição dos conectores e das placas de automação;

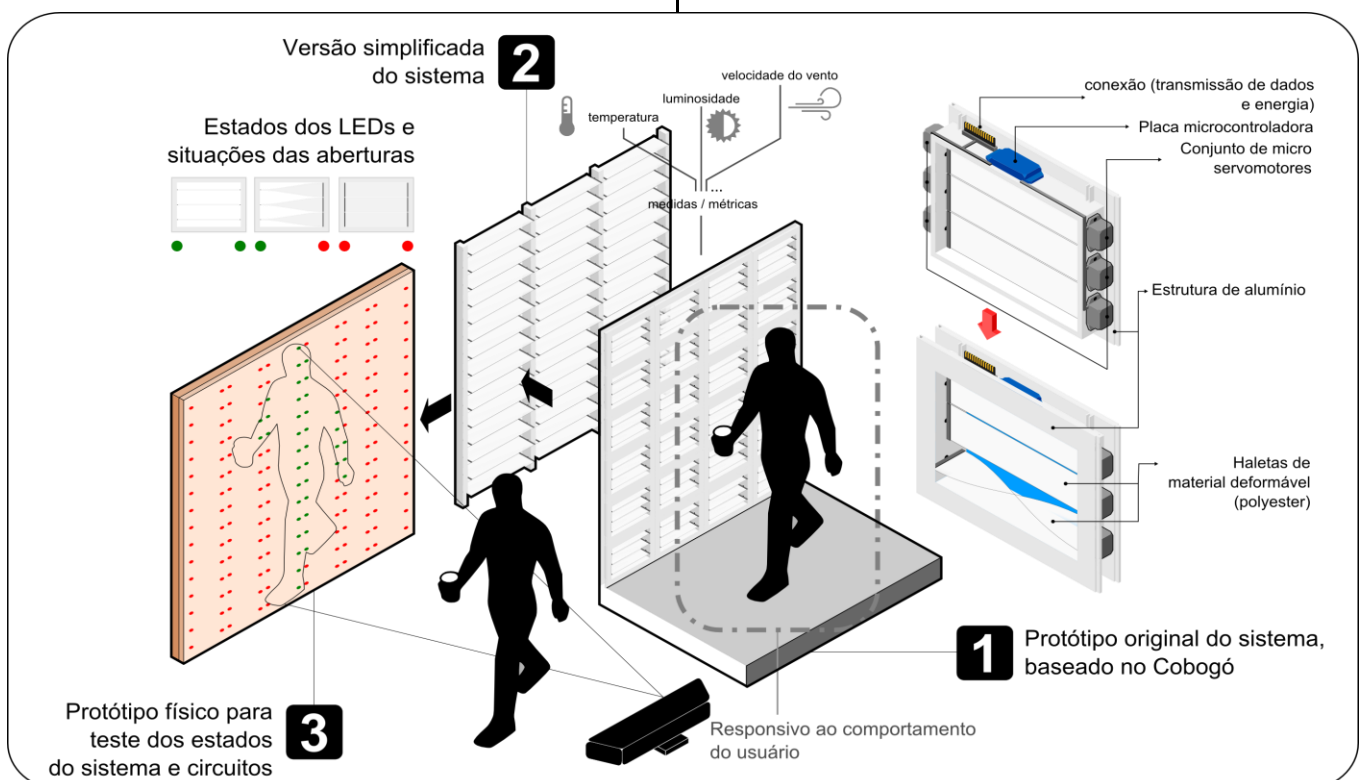
**Resposta ao sensor:** a partir de uma biblioteca para o Kinect implementada no Processing foram testados os diferentes pontos do corpo que devem acionar os atuadores. Também, em uma nova etapa, serão estudadas as relações entre os pontos do corpo para diferenciar as posições sentado, deitado ou em pé, no sistema.

A **segunda etapa** envolveu a redefinição do projeto elaborado para o cobogó responsivo, compatibilizando-o à nova etapa da pesquisa (**figura 3**). Como o objetivo agora era cobrir uma área maior, de modo a capturar o corpo humano inteiro, o protótipo foi reestruturado de modo a ter faixas mais largas, com aproximadamente 10 centímetros. Além disso, as faixas também passaram a ser mais longas, com aproximadamente 30 centímetros. Diferentemente do equipamento anterior, na nova configuração os elementos não foram tratados de forma isolada, mas como um sistema único controlado por duas placas de automação **Arduino Mega 2560**.

**Figura 3:** Imagem ilustrativa com as modificações do protótipo até sua versão final simplificada. **Fonte:** Elaboração própria.

Durante a **terceira etapa** estudou-se as diferentes estratégias para a implementação de um protótipo físico. Foram considerados como aspectos importantes a restrição de recursos para a sua confecção, o acesso aos materiais e o processo de construção simples. Como resultado, o dispositivo desenvolvido e apresentado neste artigo foi criado como um modelo intermediário, visando testar o circuito e diferentes algoritmos em uma área maior, representando parte de uma fachada populada pelos elementos responsivos. Os atuadores (servo-motores) foram substituídos por LEDs (diodos emissores de luz) bicolores.

Os servos-motores, assim como os LEDs também dependem de três conexões para funcionarem, sendo que o primeiro depende de dois pontos digitais e um fio terra para ser acionado, enquanto o servomotor deve ser alimentado a partir de uma conexão de 5 volts, um ponto digital e um fio terra. Ou seja, o número de cabos a serem utilizados no equipamento intermediário é o mesmo que deverá ser utilizado no final, sendo que as alterações devem ser feitas nas conexões presentes na placa de automação. Outro aspecto importante que pode ser considerado é que em um protótipo físico final, a utilização dos servos-motores demandaria uma alimentação externa, pois a placa de automação não tem capacidade de acionar simultaneamente tantos atuadores. No caso, dos LEDs, isto não se configura como um problema.

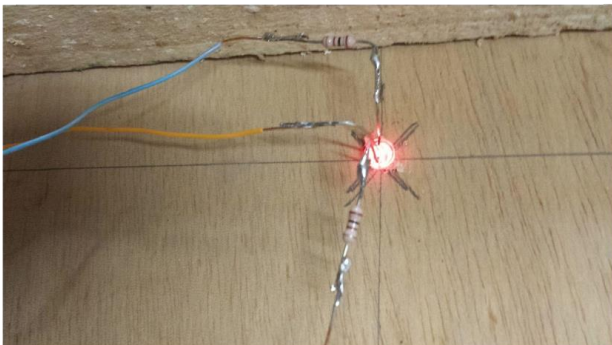




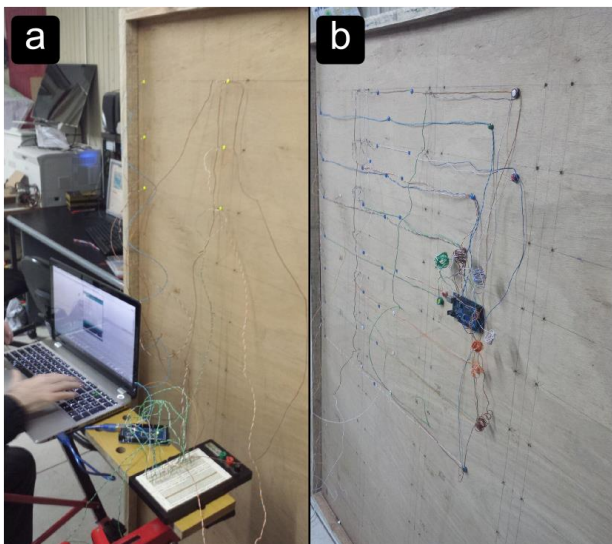
- 1** Teste com dois Arduinos funcionando em paralelo, a partir do ambiente de desenvolvimento do Processing



- 2** Fixação LEDs e conexão entre resistores e fios.



- 3** Montagem do sistema. Seis LEDs acionados pelo Kinect, montagem parcial do sistema, com fios organizados em direção a uma das placas Arduino Mega 2560.



**Figura 4:** Testes e processo de montagem do protótipo físico. **Fonte:** Elaboração própria.

A utilização dos LEDs bicolores também permite simular os diferentes estados de movimento ou inatividade das partes dos elementos da fachada. Se a torção da fita elástica for no sentido horário é acionada a cor vermelha do LED. O movimento é representado pela luz piscando, sendo que cada mudança de estado representa o que seria um giro de dez graus. Caso a luz esteja no estado sólido, significa que não há movimento no atuador. Para a outra cor do LED (verde) os diferentes estados seguem a mesma lógica, contudo este representa o que seria o giro no sentido anti-horário. O retorno a posição original do atuador é representado por ambas as cores do LED acionadas simultaneamente no estado sólido. A partir destas diferentes posições é possível representar a lógica básica de movimentação das fitas, sem a utilização de atuadores, o que representou a redução significativa no custo do protótipo e permitiu testes preliminares antes de avançar para um dispositivo mais elaborado.

A montagem do protótipo foi realizada com o auxílio de membros do Hacker Space Tarrafa, localizado no Campus da Universidade Federal de Florianópolis. Os LEDs foram fixados em uma prancha previamente perfurada de compensado com as dimensões de 1,70 x 1,70 metros. Resistores e cabos diretamente soldados aos LEDs e, posteriormente, organizados e fixados junto a prancha. Utilizaram-se fios retirados de cabos de rede de internet. As placas de automação foram fixadas no centro da prancha em uma altura que permitisse sua conexão ao computador. Os únicos componentes comprados durante a pesquisa: duas placas Arduino, 100 LEDs bicolores, resistores de 300  $\Omega$ . Os únicos componentes utilizados na pesquisa que dependem de aquisição são, o Rhinoceros e o Kinect, os demais aplicativos e ambientes de desenvolvimento são plataformas livres. A **figura 4** apresenta as diferentes etapas de montagem do sistema.

## Conclusões

Os resultados desta pesquisa, ainda que parciais, mostram a importância de protótipos tanto físicos quanto digitais para a criação de componentes automatizados de edificações. Os pesquisadores devem buscar estratégias para seus dispositivos de modo que um trabalho de investigação não seja paralisado pela falta de recursos. A existência de um hacker space no ambiente universitário, com diversos equipamentos abandonados, permite o acesso aos recursos necessários para sua construção, facilitando o processo de implementação deste tipo de propósito.

A partir do protótipo confeccionado foi possível avançar de modo preliminar, sem necessidade de se construir um modelo funcional mais complexo. A estratégia de utilização de LEDs ao invés de servomotores se mostrou adequada. Os diferentes estados produzidos pelo ponto de luz são capazes de representar a movimentação das partes automatizadas do sistema de proteção. As próximas etapas da pesquisa envolverão um aprofundamento das possíveis informações que podem ser geradas a partir dos dados coletados pelo Kinect, diferenciando as posições dos usuários em relação a

fachada. Posteriormente pretende-se criar um protótipo funcional definitivo, relacionando diretamente os parâmetros ambientais aos padrões de comportamento humano capturados pela câmera do Kinect.

## Agradecimentos

Agradecemos ao Hacker Space Tarrafa por ceder o espaço e colaborar na montagem do protótipo.

## Referências

- Achten, Henri. One and Many: An Agent Perspective on Interactive Architecture source. Fonte: **ACADIA 14**: Design Agency, Proceedings of the 34th Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (ACADIA), Los Angeles, p. 479-486.
- Archdaily. (2013, Janeiro 28). As Torres Al Bahar e sua fachada sensível, por Aedas Architects. Acesso em Novembro de 2013 em <http://www.archdaily.com.br/br/01-93779/as-torres-albahar-e-sua-fachada-sensivel-por-aedas-architects>.
- Archdaily. (2013, Agosto 5). Escritórios do Conselho de Melbourne 2 (CH2) / DesignInc Acesso em Maio de 2014 em <http://www.archdaily.com.br/br/01-132298/escritorios-doconselho-de-melbourne-2-ch2-slash-designinc>
- Archdaily. (2015, Janeiro 30). SDU Campus Kolding / Henning Larsen Architects. Acesso em Maio de 2015 em <http://www.archdaily.com/590576/sdu-campus-kolding-henninglarsen-architects> E-architect. (2008, Junho 8). Kiefer Technic Showroom. Acesso em Maio de 2015 em <http://www.e-architect.co.uk/austria/kiefer-technic-showroom>
- Fortmeyer, Russell; LINN, Charles D. Kinetic architecture: designs for active envelopes. Mulgrave: The Images Publishing Group, 2014.
- Addington, M., Schodek, D. (2009). Smart Materials. Berlin: Birkhauser T. press.

- Beesley, P., Hirose, S.; Ruxton, J., Trankle, M., Turner, C. (2006). Responsive Architectures: Subtle Technologies. Riverside: Architectural Press.
- D'alecon, R. (2013, Agosto). Fachadas transparentes: sistemas activos y passivos. ARQ, Santiago, 84, p. 1-5.
- Fox, M., Yeh, B. (1999) 1st International Workshop on Managing Interactions in Smart Environments. MANSE conference proceedings, Springer London, Dublin, 1, p. 91-103.
- Gjerde, E. (2008). Origami Tessellations: Awe-Inspiring Geometric Designs. Massachusetts: A K Peters Press.
- Klooster, (2009), Smart Surfaces and their Application in Architecture and Design, Berlin: Birkhauser T. press, p.5
- Negroponte, N. (1975). Soft Architecture Machines. Cambridge: MIT Press.
- Nishiyama, Y. (2009 May 15). Miura Folding: Applying Origami to Space Exploration. Osaka Keidai ronshu, 60(1), 17-24.
- Oliveira, N. C. F. (2013). Superfícies abstratas: o elemento cerâmico como textura na arquitetura moderna brasileira IV seminário docomomo sul. Pedra, barro e metal. Norma e licença na arquitetura moderna do cone sul americano, 1930/70.
- Pinto, Hugo R. de S.; Queiroz, N.; Cardoso, Adriano R. B.; Sousa, Joana P. M. Developing a responsive system for building façade protection using the cobogó as reference. Fonte: **SIGRADI 2015** [Proceedings of the 19th Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - vol. 2 - ISBN: 978-85-8039-133-6] Florianópolis, SC, Brasil 23-27 November 2015, pp. 519-527
- Poulsen, E. S, Jørgen, H. A, Jensen, O. B. (2013) Responsive city lighting: perspectives from architecture and the public lighting industry. In: Conference on Human Factors in Computing Systems. 1st CHI conference proceedings - changing perspectives, Paris, 2013.
- Souza, H. M. P. (2012). O conforto ambiental na arquitetura colonial brasileira: heranças muçulmanas Architecton - revista de arquitetura e urbanismo. 02 (02).
- Vieira, A., Borba, C., Rodrigues, J. (2012). Cobogó de Pernambuco. Recife: J. Rodrigues.